Ueber die Ausbreitung und absolute Feldstärkemessung ultrakurzer elektromagnetischer Wellen bei einer Frequenz von 150 Megahertz

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von

der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Erwin Schultz

aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Dezember 1937
Tag der Promotion: 30. April 1938

Druck: Karl u. Richard Hoffmann, Charlottenburg, Schillerstr. 44

N 8

Referenten: Prof. Dr. A. Wehnelt
Prof. Dr. H. A. Stuart.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsübersicht.

		Seite
I.	Tabelle der verwendeten Bezeichnungen	5
II.	Einleitung.	7
III.	Ausbreitungstheorie.	8
	a) Die Komponenten der Empfangsfeldstärke.	8
	b) Berechnung der Hauptkomponenten aus den physikalischen Daten des Ausbreitungsgeländes	9
	c) Die endgültige Formel für die erzeugte Feldstärke bei ungestörter Ausbreitung.	13
IV.	Experimentelle Untersuchungen.	16
	a) Die ultrahochfrequente Meß-Senderapparatur.	16
	b) Die Empfangs- und Meßapparatur.	22
	c) Die Eichung der Apparatur.	32
	d) Ausbreitungsuntersuchungen und Feldstärkemessungen im Gelände.	36
	e) Aenderungsvorschläge an der Apparatur.	44
V.	Zusammenfassung.	45
VI.	Literaturverzeichnis.	47

II. Einleitung.

Mit dem Einsatz der 7 m-Welle für die Zwecke der Ton-Bildsendungen und der Nachrichtenübermittlung und mit der Erzeugung noch wesentlich kürzerer Wellen wurden die Fragen nach den Ausbreitungseigenschaften derartig ultra-hochfrequenter elektromagnetischer Schwingungen laut. Das Interesse ging dabei über nur relative Messungen hinaus, man war bemüht, möglichst absolute Angaben in V/m bzw. mV/m über die am Empfangsort herrschende Feldstärke zu machen.

Zur Durchführung absoluter Feldstärkemessungen werden aber im Gegensatz zu relativen Messungen geeichte Meßempfänger benötigt. Eine Eichung etwa durch Zubringen einer bekannten Spannung der zu untersuchenden Frequenz an das Eingangsgitter der ersten Röhre hat ihre Schwierigkeiten, da Spannungsmessungen bei solchen hohen Frequenzen schwerlich mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden können; es bilden sich ja keineswegs stationäre Verhältnisse aus, die Spannung etwa an der Spannungsmeßdiode ist nicht gleich der am Gitter wirkenden Spannung. Weiter sind die Dämpfung des Gitterkreises, die Kopplung der Antennenwindungen auf diesen Kreis, die Antennenhöhe selbst usw. alles Größen, deren rechnerische als auch meßtechnische Erfassung zu Schwierigkeiten führt. Die bis ins Kurzwellengebiet hinein gut ausgebauten Meßmethoden (vgl. Lit.:1) lassen sich nicht mehr übertragen. Man ist aus diesen Gründen zur Eichung der Meßapparatur mittels Strahlungskopplung (vgl. Lit.: 2, 3) von Empfangs- und Sendedipol übergegangen.

Die Theorie derartiger Dipole ist seit den grundlegenden Arbeiten H. Hertz's gut ausgebaut worden, insbesondere ist auch die Verwirklichung der, der Theorie zugrunde gelegten Stromelemente durch die Antennengebilde ultrahochfrequenter Strahlungsquellen vollkommen möglich.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543925_0190

I. Tabelle der verwendeten Bezeichnungen.

S: Sichtweite
h_1: Senderhöhe
h_2: Empfängerhöhe
r, d: Entfernung Sender-Empfänger
λ: Wellenlänge
φ: Abstrahlungswinkel des direkten Strahls
α: Abstrahlungswinkel des reflektierten Strahls = Einfallswinkel bei ebener symmetrischer Anordnung
hw: Wirksame Antennenhöhe
J_S: Antennenstrom gemessen im Strombauch
τ: Schwingungsdauer
δ: Mittelpunktswinkel Senderfußpunkt-Reflexionspunkt
a, b: Weg des reflektierten Strahls
H: Sende- = Empfangsantennenhöhe (Eichung)
E_d: Feldintensität des direkten Strahls
E_r: Feldintensität des reflektierten Strahls
ε: Dielektrizitätskonstante
σ: Leitfähigkeit
n: Brechungsexponent
ρ: Komplexer Reflexionskoeffizient
ρ_0: Dessen absoluter Betrag
ϑ: Dessen Argument = Phasensprung des reflekt. Strahls
η: Gesamter Phasenunterschied zwischen direktem und reflektiertem Strahl
E_{d+r}, E: Resultierende Feldstärke
C_k: Rückkopplungskondensator
S_m: Mittlere Steilheit
C_A: Abstimmkondensator im Sender
L_E, C_E: Entziehungskreis
J_0: HF-Strom im Entziehungskreis
U_g: Gittervorspannung, ZF_2-Verstärkerstufen
$J_{a_{ruh}}$: Anodenruhestrom der Meßstufe
J_a: Jeweiliger Anodenstromwert dieser Stufe
α: Kilometrische Dämpfungsziffer (benutzt in Kap. III).

Will man mit einer derartigen Eichung den Messungen eine Bedeutung beimessen, die über relative Angaben hinausgeht, so müssen bei der Eichung Verhältnisse angestrebt werden, die weitgehendst denen entsprechen, die den theoretischen Betrachtungen zugrunde gelegt werden.

Die vorliegende Arbeit zerfällt somit in eine theoretische Betrachtung der Elemente, die die Gesamtfeldstärke am Empfangsort ausmachen und in einen die praktische Ausführung der Apparatur und die Erfahrungen damit betreffenden Teil.

III. Ausbreitungstheorie.

a) Die Komponenten der Empfangsfeldstärke.

Befindet sich ein Sendedipol in der Höhe h_1 über dem Erdboden, so ist seine optische Sichtweite S (vgl. Abb. 1) gegeben durch

$$S = 3{,}56 \sqrt{h_1}\ \text{km}. \qquad (h_1 \text{ in m}).$$

Empfangsdipole, die sich außerhalb S befinden, können nur dann von direkten Strahlen des Senders getroffen werden, wenn sie sich in einer Höhe $h_2 > h$ über dem Erdboden befinden. Aus Abb. 1 liest man dabei für h ab:

$$h = \sqrt{R^2 + (d-S)^2} - R. \qquad R = 6380\,\text{km}, \text{ Erdradius}.$$

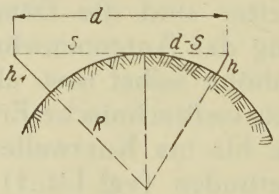

Abb. 1. Zur Ermittlung der Sichtweite.

Die in Empfangsstationen unterhalb des Horizonts des Senders gemessenen Feldstärken ultrakurzer Wellen erklären sich durch Beugung an und in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche, von einem Beitrag infolge allmählicher Brechung der Strahlung zur Erde zurück und von einer Reflexion, insbesondere der längeren Ultrakurzwellen ($\lambda =$ 10 m bis etwa $\lambda = 7$ m) an den oberen leitenden Schichten der Atmosphäre (Ionosphäre) soll hierbei abgesehen wer-

den, da im folgenden Untersuchungen über große Entfernungen nicht durchgeführt wurden. Ueberdies ist für sehr kurze Wellen (etwa $\lambda < 7\,m$) eine Reflexion an der Ionosphäre kaum zu erwarten, da die Ladungskonzentration nicht mehr passend ist.

Für Empfangsdipole außerhalb S, die höher als h gelegen sind, kommt zu diesen Komponenten der Feldstärke noch die an der Erdoberfläche reflektierte Welle (vgl. Lit.: 4,5) hinzu.

Die gesamte resultierende Feldstärke setzt sich somit im allgemeinen aus 3 Komponenten zusammen:

Dem direkten Strahl,
dem reflektierten Strahl und
dem Beitrag infolge Beugung bzw. Brechung.

b) Berechnung der Hauptkomponenten aus den physikalischen Daten des Ausbreitungsgeländes.

Für die Ausbreitung innerhalb der Sichtweite geben direkter und reflektierter Strahl beim Fehlen von beugenden Hindernissen die die Gesamtfeldstärke bestimmenden Komponenten. Die Verhältnisse lassen sich dabei an Abb. 2

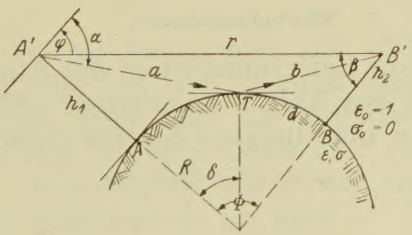

Abb. 2. Zur Ausbreitung von direktem und reflektiertem Strahl.

übersehen. Der direkte Strahl verläßt den Sendedipol in A' unter einem Winkel φ gegen die Aequatorialebene des Dipols, der in T reflektierte Strahl, der gleichfalls nach B' gelangt, bildet mit dieser Ebene den Winkel α. Von dieser unter dem Winkel α abgestrahlten Energie gelangt aber nur ein Teil, der durch die Reflexionseigenschaften des reflek-

tierenden Mediums bedingt ist, nach B', der Rest der Strahlung wird durchgelassen bzw. absorbiert.

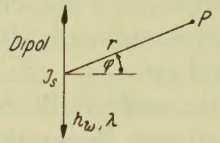

Abb. 3.

Herrscht im Strombauch eines Senders die Stromstärke J_s gemessen in Ampère, so ergibt sich aus der Theorie für einen frei im Raum befindlichen Strahlungsdipol die Feldstärke im Punkte P (vgl. Abb. 3) zu:

$$E = 60\ \pi \frac{h_w J_s}{\lambda\, r} \cos\varphi \text{ Volt/m.} \qquad (1)$$

Darin bedeuten λ die Wellenlänge der benutzten Strahlung und h_w die wirksame Antennenhöhe des Senders, die durch die Stromverteilung im Strahler festgelegt ist. Unter E ist dabei die Amplitude der in P auftretenden sinusförmig wechselnden Feldstärke zu verstehen; der jeweilige Wert der Feldstärke ergibt sich hieraus durch Zunahme eines zeitlich veränderlichen Faktors

$$E_{HF} = E \cos 2\pi\left(\frac{r}{\lambda} - \frac{t}{\tau}\right), \qquad (2)$$

τ: Schwingungsdauer.

In E treten u. a. die Entfernung r und der Abstrahlwinkel φ auf. r läßt sich aus Abb. 2 unmittelbar ablesen, für den Abstrahlwinkel φ des direkten Strahls ergibt sich

$$\varphi = (\Phi + \beta) - \pi/2$$

wobei:

$$\sin\beta = \frac{R + h_1}{r} \sin\Phi \text{ mit } \Phi = \frac{d}{R}.$$

Für den Ausbreitungsweg a + b des reflektierten Strahles gilt das Fermat'sche Prinzip des kürzesten Weges, also

$$\frac{d(a+b)}{d\delta} = 0.$$

Die Durchführung der Rechnung ergibt für δ die Gleichung:

$$\begin{matrix}(R+h_1)\sin\delta \\ (R+h_2)\sin(\Phi-\delta)\end{matrix} \Big| \sqrt{\begin{matrix}R^2+(R+h_1)^2-2R(R+h_1)\cos\delta \\ R^2+(R+h_2)^2-2R(R+h_2)\cos(\Phi-\delta)\end{matrix}},$$

deren Auflösung durch Näherungswerte zu bewerkstelligen ist. Mit δ ist auch der Abstrahlwinkel α des reflektierten Strahls gegeben, aus Abb. 2 ergibt sich

$$\cos\alpha = \frac{R}{a}\sin\delta.$$

Kann man von der Kugelgestalt der Erde absehen, also ebene Verhältnisse zugrunde legen, so ergeben die analogen Betrachtungen für die Entfernungen und Winkel

$$\begin{aligned} a &= \frac{h_1}{h_1+h_2}\Big|\sqrt{(h_1+h_2)^2+d^2}, \\ b &= \frac{h_2}{h_1+h_2}\Big|\sqrt{(h_1+h_2)^2+d^2}, \\ \operatorname{tg}\varphi &= \frac{h_1-h_2}{d}, \qquad \operatorname{tg}\alpha = \frac{h_1+h_2}{d}. \end{aligned} \tag{3}$$

Bei symmetrischer Anordnung von Sender und Empfänger ($h_1 = h_2 = H$), wie sie bei den Versuchen eingehalten wurde, gehen obige Ausdrücke über in

$$r = d,\ a = b = \frac{1}{2}\Big|\sqrt{4H^2+d^2},\ \varphi = 0 \text{ und } \operatorname{tg}\alpha = \frac{2H}{d} \tag{4}$$

In Formel (1) trat ferner noch die wirksame Antennenlänge h_w auf, die von der geometrischen verschieden ist. Man erhält sie, wenn man die nichtstationäre Stromverteilung längs des Strahlers durch eine vom Orte unabhängige ersetzt, deren Größe gleich der im Strommaximum herrschenden Stromstärke ist, also

$$h_w = \frac{1}{i_0}\int_{l_0} i\,dl \tag{5}$$

mit i_0: Stromstärke im Strombauch, i: Strom am Orte l und l_0: Gesamtlänge der Antenne. Für einen $\lambda/2$-Dipol, für eine Antenne also, deren Länge l_0 gleich einer halben Wellenlänge der emittierten Strahlung ist, ihre Stromverteilung ist sinusförmig, wird dann (vgl. Abb. 4):

$$h_w = \frac{1}{i_0} \int_{-\lambda/4}^{+\lambda/4} i_0 \cos \frac{2\pi l}{\lambda} \, dl = \frac{\lambda}{\pi} \qquad (6)$$

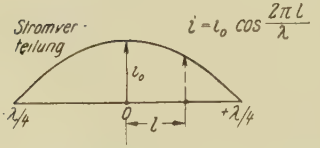

Abb. 4. Zur Berechnung von h_w eines $\lambda/$-Dipols.

Damit geht der Ausdruck E für die Amplitude der Feldstärke eines ungeerdeten Strahlungsdipols über in

$$E = \frac{60\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{J_s}{r} \cos \varphi = 60 \frac{J_s}{r} \cdot \cos \varphi \, \text{Volt/m} \qquad (7).$$

E wird also unabhängig von der benutzten Wellenlänge.

Unter Verwendung von (4) und (7) ergeben sich für die Feldintensitäten E_d des direkten Strahles

$$E_d = 60 \frac{J_s}{d} \, \text{Volt/m} \qquad (8)$$

und des reflektierten Strahls

$$E_r = \rho \frac{60 J_s}{\sqrt{4H^2 + d^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2H}{d}\right)^2}}, \text{ da } \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \qquad (9)$$

wobei durch ρ der Bruchteil der gesamten auftreffenden Strahlung gegeben wird, der zurückgeworfen wird. Bei fester Frequenz ist ρ außer vom Auftreffwinkel lediglich von der physikalischen Beschaffenheit der reflektierenden Fläche, d. h. von der Leitfähigkeit σ und der Dielektrizitätskonstanten ε abhängig. Die genauen Formeln der Metalloptik (vgl. Lit.: 7) sind außerordentlich unhandlich, wir begnügen uns deshalb mit brauchbaren und leichter auswertbaren Näherungen. Unter Verwendung eines komplexen Brechungsexponenten

$$n = \sqrt{\varepsilon - 2j\sigma\lambda c} \quad , \; j^2 = -1 \qquad (10)$$

erhält man für den Reflexionskoeffizienten die komplexe Fresnel'sche Formel (vgl. Lit.: 4)

$$\varrho = \frac{n^2 \sin\alpha - \sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}{n^2 \sin\alpha + \sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}} = \varrho_0 e^{i\vartheta}. \qquad (11)$$

Dabei sind ϱ_0 das Verhältnis von reflektiertem zu einfallendem Strahl und ϑ der Phasenwinkel zwischen beiden. Die Größe der reflektierten Strahlung ist also abhängig vom Einfallswinkel α, ferner erleidet der reflektierte Strahl einen Phasensprung um ϑ.

c) Die endgültige Formel für die erzeugte Feldstärke bei ungestörter Ausbreitung.

Mit Hilfe der im vorangehenden Abschnitt gewonnenen Formeln ist es nun leicht, die resultierende Feldstärke in einer bestimmten Richtung aus den Komponenten zusammenzusetzen. Es ist dabei allerdings noch zu beachten, daß von der durch Reflexion entstandenen Komponente nur der Anteil wirksam wird, der in Richtung des Empfangsdipols liegt, d. h. bei der bereits beschriebenen Anordnung der Vertikalantennen tritt zu dem Ausdruck (9) noch der Faktor $\cos\alpha$.

Die Summation geschieht nach den Regeln der Vektoraddition (vgl. Abb. 5), wobei der Phasenunterschied zwi-

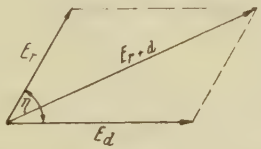

Abb. 5. Addition von direktem und reflektiertem Strahl.

schen direktem und reflektiertem Strahl sich aus der Differenz beider Ausbreitungswege ergibt. Hinzu tritt noch der Phasensprung, den der reflektierte Strahl erleidet. Es wird der Phasenunterschied unter Benutzung von (2) und (4):

$$\eta = 2\pi \frac{(a+b) - r}{\lambda} + \vartheta = 2\pi \frac{\sqrt{4H^2 + d^2} - d}{\lambda} + \vartheta. \qquad (12).$$

Der endgültige Ausdruck für die in der Vertikalen resultierende Feldstärke am Empfangsart wird somit:

$$E_{d+r} = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 \cos^2 \alpha + 2E_d E_r \cos \alpha \cos \eta} \qquad (13)$$

und unter Berücksichtigung von (8), (9) und (11)

$$E_{d+r} = 60\, J_s \sqrt{\frac{1}{d^2} + \frac{\rho_0^2 d^2}{(4H^2 + d^2)^3} + \frac{2\rho_0 d}{(4H^2 + d^2)^{3/2}} \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{4H^2 + d^2} - d) + \vartheta\right]} \qquad (13)$$

wobei ρ_0 und ϑ nach (11) durch ε und σ der reflektierenden Fläche und durch den Winkel α bestimmt sind.

Für den Fall also, daß der Ausbreitungsweg über physikalisch genau definiertes Gelände führt, d. h. für den Fall, daß ε und σ bekannt sind, kann obiger Ausdruck für E_{d+r} praktisch ausgewertet werden und somit zur Eichung einer Sende- und Empfangsapparatur benutzt werden, die in ihrem Aufbau und ihrer Anlage den bei der Aufstellung der Formel für die resultierende Feldstärke vorausgesetzten Bedingungen weitgehendst entspricht. Der Phasenunterschied η (siehe (12)) zwischen direktem und reflektiertem Strahl bewirkt nun in dem Ausdruck für die Gesamtfeldstärke Interferenzerscheinungen, d. h. bei der Ausbreitung sind Maxima und Minima der Feldintensität zu erwarten. Sehen wir von dem Phasensprung ϑ der reflektierten Welle ab, so tritt in denjenigen Entfernungen d eine Verstärkung ein, für die gilt

$$d_{max} = \frac{4H^2 - n^2\lambda^2}{2n\lambda} \qquad (14)$$

wird dagegen

$$d_{min} = \frac{4H^2 - \left(\frac{2m+1}{2}\right)^2 \cdot \lambda^2}{(2m+1) \cdot \lambda}, \qquad (15)$$

so kommt es zur teilweisen Aufhebung der Feldintensität. Aus (14) und (15) ergeben sich die kritischen Entfernungen d_{max} bzw. d_{min} bei $H = 6\,m$ und $\lambda = 2\,m$:

$n = 1$	$d^{1}_{max} = 35$ m	$m = 0$	$d^{0}_{min} = 71{,}5$ m
$n = 2$	$d^{2}_{max} = 16$ m	$m = 1$	$d^{1}_{min} = 22{,}5$ m
$n = 3$	$d^{3}_{max} = 9$ m	$m = 2$	$d^{2}_{min} = 11{,}9$ m
$n = 4$	$d^{4}_{max} = 5$ m	$m = 3$	$d^{3}_{min} = 6{,}78$ m
$n = 5$	$d^{5}_{max} = 2{,}2$ m	$m = 4$	$d^{4}_{min} = 3{,}5$ m
$n = 6$	$d^{6}_{max} = 0$ m	$m = 5$	$d^{5}_{min} = 1{,}05$ m

ihre Anzahl ist bei fester Wellenlänge nur von der geometrischen Anordnung von Zustrahler und Empfänger abhängig. Eine sehr starke Ausprägung dieser Orte extremer Feldstärke ist aber aus folgenden Gründen bei einer experimentellen Nachprüfung nicht zu erwarten: Einmal ist die Wirkung von ϑ außer Betracht gelassen, ferner sind ρ_0 und auch ϑ nicht konstant, sondern vom Einfallswinkel α abhängig (über den Verlauf von ρ_0 und ϑ in Abhängigkeit von α für verschiedene ε und σ vgl. Lit.: 4), vor allem aber gelten die zugrunde gelegten theoretischen Betrachtungen erst in einer gewissen Entfernung von dem Strahler, in der nämlich der Lösungsanteil der Feldgleichungen überwiegt, der die Vorgänge in der Wellenzone ($r >> \lambda$) beschreibt, und in der sich bereits Planwellen ausgebildet haben. Die obigen kritischen Entfernungen liegen aber nahezu sämtlich noch in Entfernungen vom Sender, für die das Nahzonenglied nicht zu vernachlässigen ist. Mit

$$d > \frac{4H^2 - \frac{\lambda^2}{4}}{\lambda} \tag{16}$$

befindet man sich außerhalb des von Extremalringen er-

füllten Gebietes. Für $d > d^0_{min}$ bleibt die Phasendifferenz $< \pi$ und geht mit wachsender Entfernung d nach 0, sodaß für größere d im wesentlichen nur der Phasensprung ϑ zu berücksichtigen ist.

IV. Experimentelle Untersuchungen.

a) Die ultrahochfrequente Meß-Senderapparatur.

Der Sender sollte der einfacheren Handhabung wegen nicht mit einer Magnetfeldröhre, sondern mit Trioden betrieben werden. Es war allerdings schwer, Röhren zu beschaffen, die bei derartig hohen Frequenzen noch einen brauchbaren Nutzeffekt bei einer leidlichen Hochfrequenzleistung besitzen. Bei den folgenden Versuchen wurde mit der Senderöhre RS 245 gearbeitet, einem Rohr, das besonders für die Erzeugung sehr schneller Schwingungen konstruiert ist; jedoch war der Nutzeffekt bei der Betriebsfrequenz von 150 MHz nur ein Bruchteil der bei längeren Wellen mit diesem Rohr erzielbaren Hochfrequenzausbeute. Die Nutzleistung fällt mit steigender Frequenz von einem gewissen Bereich an äußerst rapide ab. Die Wellenlänge von $\lambda = 2\,m$ ist zugleich etwa die Grenze der mit dieser Type noch bei brauchbarer Energieabgabe erzielbaren Hochfrequenzschwingung.

Der Sender wurde in Selbsterregung betrieben, da die Ausbeute an Hochfrequenz bei einer kristallgesteuerten Stufe wesentlich geringer ist, und andererseits eine Verstärkung bei so kurzen Wellen eine unnötige Erschwerung im Aufbau mit sich bringen würde.

Als Beschaltung wurde die Gegentaktanordnung gewählt, einmal, weil bei ihr die für das Schwingen bei hohen Frequenzen ins Gewicht fallende Gitteranodenkapazität beider Röhren in Serie liegt, die schädliche Koppelkapazität also auf die Hälfte reduziert ist, und ferner, weil bei dem damit notwendig verbundenen symmetrischen Aufbau schon ohne Abschirmung eine unkontrollierbare Streuung hochfrequenter Energie bis zu einem gewissen Grade vermieden wird.

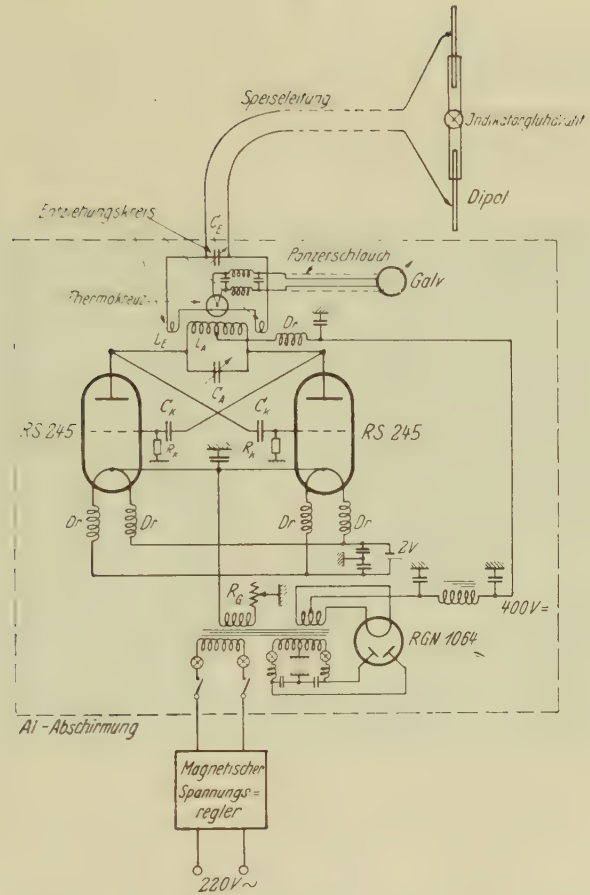

Abb. 6. Prinzipschaltung des UKW-Senders mit Entziehungskreis, Speiseleitung und Strahler.

Die Prinzipschaltung ist aus Abb. 6 zu ersehen. Es handelt sich um Selbsterregung infolge kapazitiver Rückkopplung über C_k, eine Beschaltungsart, die sich zur Erzeugung sehr schneller Schwingungen praktisch recht gut bewährt hat. Mit den Ableitwiderständen zusammen ergeben die Kondensatoren C_k die Audionkombination, die durch den bei der Gleichrichtung zwischen Gitter und Kathode auftretenden Spannungsabfall automatisch die Amplitude der selbsterregten Schwingung begrenzt und stabilisiert. Kondensator und Ableitwiderstand müssen geeignet gewählt werden, da bei ungünstiger Wahl leicht Instabilitäten auftreten können. Bei der benutzten Art der

Amplitutenbegrenzung — es wird immer die mittlere Steilheit S_m verkleinert — treten Formverzerrungen nur in geringem Maße auf, die erhaltene Frequenz ist weitgehend oberschwingungsfrei (vgl. Lit.: 9).

Um ein unkontrolliertes Abfließen von Hochfrequenz zu verhindern — es bedeutet neben einer Einbuße an hochfrequenter Energie vor allem eine Verfälschung der Meßergebnisse — sind sämtliche Zuleitungen gut verdrosselt und verblockt. Vorteilhafter in der Sperrwirkung als die eingebauten $\lambda/4$-Drosseln ist wohl die Verwendung von abgestimmten Kreisen, jedoch steigt damit die Tendenz zum Auftreten ungewollter Schwingungen, Einstellung und Betriebskonstanz werden dadurch erschwert und gefährdet.

Der in einem Aluminiumgehäuse montierte Sender war, um Ausstrahlung der Betriebsspannungszuleitungen zu vermeiden, unmittelbar am Batterienkasten, der ebenfalls aus Aluminium bestand, befestigt (vgl. Abb. 7). Während die Heizleistung einem Akkumulator entnommen wurde, mußte der verhältnismäßig hohe Anodenstrombedarf aus einem Gleichrichteraggregat gedeckt werden, das im Batterienkasten mit eingebaut war. Die Speisung dieses Aggregats geschah zunächst aus einem mitgeführten 12 V /220 V ~ Einankerumformer, später wurde über Kabelzuleitung das Netz benutzt, da das Umformeraggregat nicht die unbedingt erforderliche Betriebskonstanz gewährleistete. Zwischen Netz und Apparatur wurde ein magnetischer Spannungshalter gelegt, um die bei Belastungsschwankungen des Netzes aufgetretenen Spannungsänderungen zu kompensieren.

Diese Vorsichtsmaßnahme erweist sich als unbedingt notwendig, da sich Schwankungen in den Betriebsbedingungen, hier also in der Anodengleichspannung, sehr unangenehm auf die Frequenzkonstanz auswirken; mit den Spannungsschwankungen ist im Röhrensystem eine Aenderung des Durchgriffs verbunden (vgl. Lit.: 14). Größenordnungsmäßig betrug bei der angegebenen Anordnung die Frequenzverwerfung etwa 10 kHz/Volt Anodenspannungsänderung. Diese Messung wurde mit einem Tu-mitgezogenen Mischvorsatz (vgl. Abb. 8) bei Beobachtung der erhaltenen Differenzfrequenz an einem geeichten Rund-

funkgerät durchgeführt. Das Vorsatzgerät wurde mir dabei von Herrn A. Rapp von seinen eigenen Untersuchungen her freundlichst für die Zwecke der Frequenzkontrolle des Gegentaktsenders zur Verfügung gestellt.

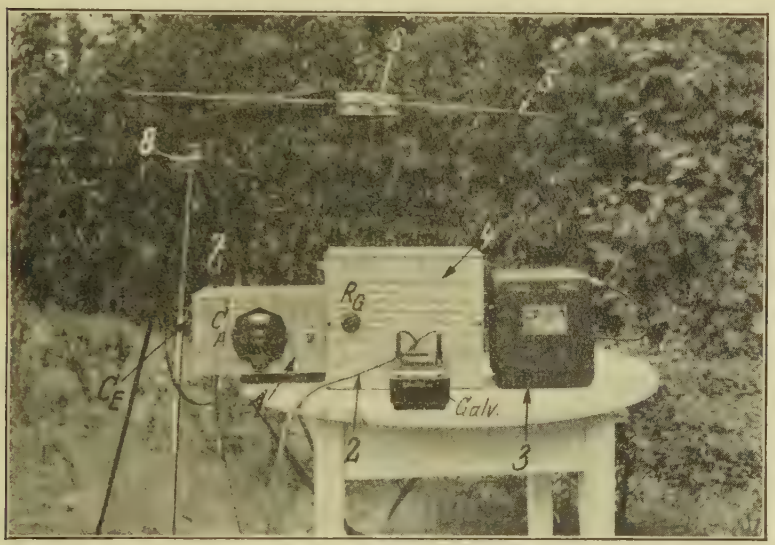

Abb. 7. Zusammenstellung der Sendeapparatur.
Nr. 1: UKW-Generator
Nr. 2: Thermostromleitung
Nr. 3: Spannungsregler
Nr. 4: Batterienkasten mit Gleichrichterteil
Nr. 5: Dipol
Nr. 6: Glühdraht
Nr. 7: Beginn der Speiseleitung
Nr. 8: Kugelgelenk.
CE, C_A, R_G: siehe Schaltungsschema.

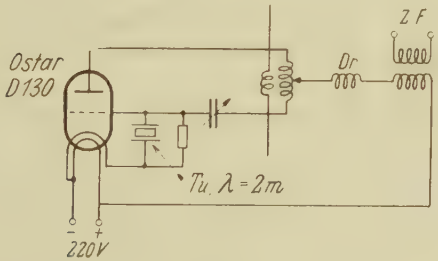

Abb. 8. Kristallmitgezogener UKW-Mischvorsatz.

Im Vergleich zur Sollfrequenz bedeutet die angegebene Frequenzverwerfung mit der Anodenspannung relativ wenig (etwa 0,007 %), da aber in dem noch näher zu erörternden Meßempfänger diese Frequenzabhängigkeit sich in ihrem vollen Betrage auswirkt, und der Empfänger nicht über derartig breite Kreise verfügte, wie sie demnach notwendig wären, müssen die Betriebsspannungen entsprechend sauber stehen. Daneben kommt als Grund für das Laufen der Frequenz noch die ungleichmäßige Erwärmung der gesamten Apparatur hinzu. Demgegenüber ist aber die frequenzerhaltende Wirkung eines abgestimmten Strahlers auf die erregte Schwingung erfahrungsgemäß nicht zu vernachlässigen. Es wurde dashalb zu Beginn einer Meßreihe der Sender stets eine Zeitlang eingefahren. Das Wandern der Frequenz wurde dabei mit dem schon erwähnten kristallmitgezogenen Vorsatzgerät kontrolliert und mit dem Abstimmkondensator C_A im Schwingkreis nachgestimmt. Gleichzeitig wurde dadurch eine genauere Einstellung der ausgestrahlten Welle möglich, als es durch die ursprüngliche Eichung des Senders am Lechersystem geschehen war. Nach einer Einbrennzeit von ca. 30 Min. war der Temperaturausgleich innerhalb der Apparatur soweit ausgebildet, daß im Kontrollgerät ein Fortlaufen der Welle nicht mehr zu beobachten war.

Um der im Teil III vorausgesetzten Eigenschaft des Strahlers als frei im Raum befindlich weitgehendst zu entsprechen, ist es erforderlich, den Strahlungsdipol vom Hochfrequenzgenerator zu trennen; die metallischen Abschirmgehäuse bedeuten einen Kurzschluß für die Feldlinien, sie verzerren den normalen Kraftlinienverlauf. Daneben wird bei einer Montierung der Antenne am Generator noch ein Teil der Antennenströme in ihrer Strahlungswirkung durch die Abschirmung der Apparatur mit abgedeckt.

Erfahrungsgemäß ist ein Dipol in einer Entfernung von mindestens 6 $\lambda/2$ von der Umwelt deren Einwirkungen genügend entzogen. Der Strahler wurde aus diesem Grunde auf einem Bambusstativ vermittels eines Kugelgelenks drehbar angeordnet ($H = 6\,m$), um ihn sowohl als Vertikaldipol als auch als horizontal ausgerichteten Strahler zu be-

nutzen. Er bestand aus zwei versilberten Kupferrohren, die in einem ebenfalls versilberten, geschlitzten Messingrohr verschiebbar und gut anliegend gehalten wurden. Die Zuführung der hochfrequenten Energie geschah vermittels einer etwa 7 m langen Speiseleitung über den in Abb. 6 eingezeichneten Entziehungskreis C_E, L_E .

Als Material für die Speiseleitung des Dipols wurde mit gutem Erfolge das auf dem Markt erhältliche „Ledionband" verwendet. Die beiden Zuleitungen aus Litze werden hier in einem Abstand von 1,5 cm voneinander durch ein biegsames und verlustarmes Zellonband fest geführt. Diese feste Führung der Lecherleitung ist außerordentlich wichtig für die stete gute Anpassung der Zuleitung an den Strahler.

Die Anpassung der Speiseleitung an den Strahler selbst ist von allergrößter Wichtigkeit und muß auf das Sorgfältigste vorgenommen werden, da von der Zuleitung keine Strahlung ausgehen darf. Man überzeugt sich zweckmäßig dadurch von der Richtigkeit der auf der Antenne gewählten Zuführungspunkte, daß man, unter Beobachtung des noch zu erwähnenden Hochfrequenzstrommeßinstrumentes, des in die Strahlermitte eingelassenen Glühdrahtes und der evtl. an den Dipolenden eingehängten Glimmlämpchen, mit der Hand längs der Zuleitung entlangfährt. Periodische Veränderungen in der Anzeige der erwähnten Indikatoren sind für die Ausbildung stehender Wellen längs der Leitung charakteristisch, die Anpassung ist somit noch nicht gefunden.

Auf Vorschlag von Herrn Prof. Leithäuser wurde der Hochfrequenzstrom im Strombauch des Strahlers durch die Helligkeit eines dort eingelassenen Glühdrahtes gemessen, und zwar so, daß der Faktor zwischen dem Strom im Entziehungskreis und dem Antennenstrom bestimmt wurde (Photoamperemeter). Die Ermittlung dieses „Uebertragungsfaktors" kann z. B. mit Hilfe einer Photozelle oder mit einem Mikropyrometer durch Vergleichsmessung bei Gleichstromheizung des Glühfadens im Strahler geschehen. Im vorliegenden Fall wurde die Messung pyrometrisch

durchgeführt*). Es ergab sich für das Verhältnis von Antennenstrom J_s zu Strom im Entziehungskreis J_0

$$k = \frac{J_s}{J_0} = 0{,}36. \qquad (17)$$

Die Messung des Antennenstromes in der räumlich von der übrigen Apparatur getrennten Antenne ist damit auf die einfach durchzuführende Strommessung im Entziehungskreis an der Sendeapparatur zurückgeführt. Diese geschah mit Hilfe eines in die Mitte der Entziehungsspule geschalteten Thermokreuzes. Der Thermostrom wurde gut verdrosselt und verblockt in doppeltem Panzerschlauch dem Meßinstrument zugeführt. Würde man das Thermokreuz direkt in die Antenne legen, so bewirken die Rückleitungen der Thermostromes Veränderungen im Strahlungsdiagramm des $\lambda/2$-Strahlers.

In die Kathodenzuleitung war ein Drehwiderstand R_G (vgl. Abb. 6) gelegt zur Einstellung des Hochfrequenzstromes durch Aenderung der Ruhegittervorspannung, ferner wurde dem Gitter eine Wechselspannungsamplitude mit der Netzfrequenz zugeführt. Es wird dadurch in einfachster Weise eine Modulation der erzeugten Hochfrequenz erreicht, eine Maßnahme, die sich aus noch näher anzugebenden Gründen als recht zweckmäßig erwies.

b) Die Empfangs- und Meßapparatur.

Wie bereits im vorigen Paragraphen angedeutet, sollen soweit als möglich die Verhältnisse der praktischen Ausführung der gesamten Apparatur den theoretischen Betrachtungen (s. Kap. III, b) entsprechen: Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen von einem frei im Raum befindlichen Strahler aus über eine durch die Kenntnis ihrer physikalischen Konstanten genau definierte Fläche. Dazu gehört, daß der Feldlinienverlauf genau wie am Ausstrahlungspunkt so auch am Empfangsort durch die Meßapparatur nur geringfügige Verzerrungen erleidet. Von dieser Forderung ausgehend wurde eine Aufteilung der Empfangsapparatur in die eigentliche Empfangsstufe, die zugleich

*) Für die Ueberlassung eines Pyrometers sei Herrn Prof. Hoffmann von der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt bestens gedankt.

den Empfangsdipol enthält und in die Verstärkerstufen mit der Meßstufe durchgeführt (vgl. Abb. 9a). Von den verschiedenen Empfangsprinzipien wurde das der Ueberlagerung mit bestem Erfolge verwendet. Die getrennt ausgeführte Eingangsstufe war zugleich Mischstufe. Durch die Transponierung der Eingangsfrequenz auf eine der weiteren Verstärkung usw. besser zugängliche Frequenz vermeidet man die Schwierigkeiten, wie man sie vom Experimentieren mit sehr schnellen Schwingungen her kennt. Gegenüber anderen Empfangsschaltungen (Superregenerativ-Empfänger, Audionschaltung) ergibt diese Schaltungsart außerdem noch ein in der Empfindlichkeit von der herrschenden Feldstärke unabhängiges Empfangsgerät. Da Messungen im Gelände durchgeführt werden sollten, ergab sich die Notwendigkeit, das Gerät für Batteriebetrieb einzurichten, die Betriebsspannungen wurden mit dem ein-

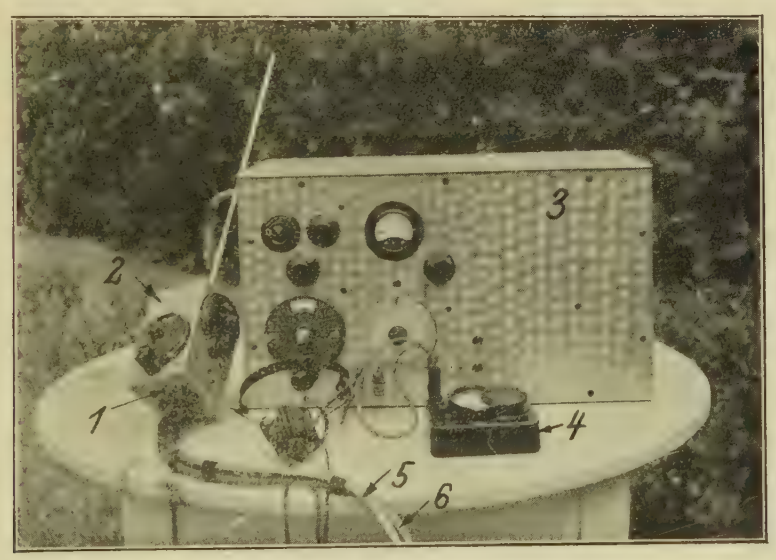

Abb. 9a. Empfangs- und Meßgerät.

Nr. 1: Befestigungsmutter für Kugelgelenk.
Nr. 2: UKW-Empfangsstufe (Mischvorsatz).
Nr. 3: Zweiter Ueberlagerer mit Verstärker, Meßstufe und Batterienkasten.
Nr. 4: Ausgangsinstrument.
Nr. 5: Zwischenfrequenzkabel.
Nr. 6: Panzerzuleitung der Betriebsspannungen.

gebauten Meßinstrument fortlaufend kontrolliert. Als Röhrenbestückung war an die Typen der K-Serie gedacht, jedoch fielen Vorversuche mit dieser Röhrenart in der Eingangsstufe nicht zufriedenstellend aus, so daß an dieser Stelle mit Zwergröhren gearbeitet wurde. Als Hilfsoszillator wurde die Type SD 1 und als Mischrohr die Hochfrequenzpenthode SF 1 verwendet. Die Mischung wurde multiplikativ über das bei der SF 1 getrennt herausgeführte Fanggitter erreicht (vgl. Abb. 10). Der Empfangsdipol als $\lambda/4$-Antenne ausgebildet, bestand ebenfalls wie beim Strahler aus versilbertem Kupferrohr, das verschiebbar in einem gleichfalls versilberten Messingrohr gehalten wurde. Die Betriebsspannungen wurden von der übrigen Apparatur, die die Batterien enthielt, über doppelt gepanzerte Kabel zugeführt (vgl. Abb. 9b). Von dem Vorsatzgerät, das mit einem Kugelgelenk schwenkbar ebenfalls auf einem Bam-

Abb. 9 b. Aufbau der Meßapparatur.

Nr. 1: ZF-Eingang.
Nr. 2: Zweite Ueberlagererstufe.
Nr. 3: Verstärkerstufen und Meßstufe.
Nr. 4: Batterienraum.
Nr. 5: Dämpfungsrohr
Nr. 6: Erste Mischstufe
Nr. 7: UKW-Oszillator
} Zwergröhren.

busstativ in gleicher Höhe mit dem Strahler angebracht war, wurde die Mischfrequenz durch eine ca. 7 m lange Hochfrequenzleitung der Meßapparatur zugeführt. Für diese Zuleitung wurde das im Handel erhältliche Kapa-Gold-Kabel benutzt. Die Leitungsseele wird hier fest zentriert durch das ganze Kabel geführt, Kapazitätsänderungen infolge Verlagerung bei Biegungen usw. sind nicht zu befürchten. Die Zwischenfrequenz lag bei etwa 4,5 MHz. Mit dieser Anordnung ist das Experimentieren in Vertikal- als auch in Horizontallage möglich.

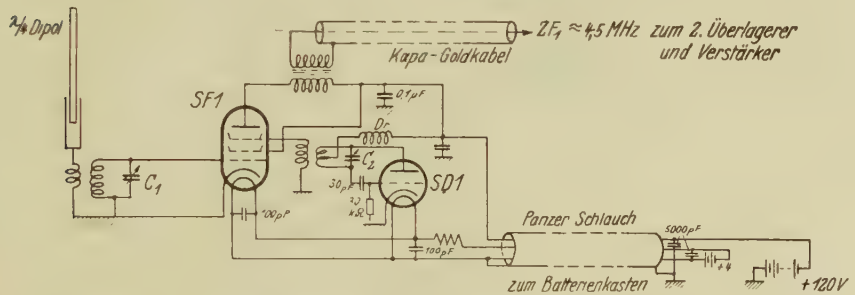

Abb. 10. Prinzipschaltbild der Eingangsüberlagerungsstufe mit den Zwergröhren SF 1 und SD 1.

Da der Ueberlagerer im Mischvorsatz ebenso wie der Sender sehr empfindlich gegen Betriebsspannungsschwankungen ist, die Batterien aber bei längerem ununterbrochenen Gebrauch etwas absinken, und bei der getroffenen Anordnung der Apparatur eine Nachstellung der Mischfrequenz am Ueberlagererkreis sehr umständlich und zeitraubend wäre, wurde in einer zweiten Transponierungsstufe diese erste Mischfrequenz auf den endgültigen Wert von 111 kHz hingeschoben. In der gesamten Sende- und Empfangsapparatur werden somit drei eigenerregte Oszillatoren benutzt, von deren Frequenzstabilität der Erfolg der Messungen abhängt. Wie aus der Prinzipschaltung Abb. 11 ersichtlich ist, werden in den Verstärkerstufen Bandfilter benutzt, deren Durchlaßkurve erfahrungsgemäß mitunter nicht unbeträchtlich unter der vom Hersteller angegebenen liegt. Legen wir die Sollbandbreite von 6 kHz zugrunde, so genügen Schwankungen von weniger als 3 kHz pro Oszillator, um im ungünstigsten Fall, daß sich die Schwan-

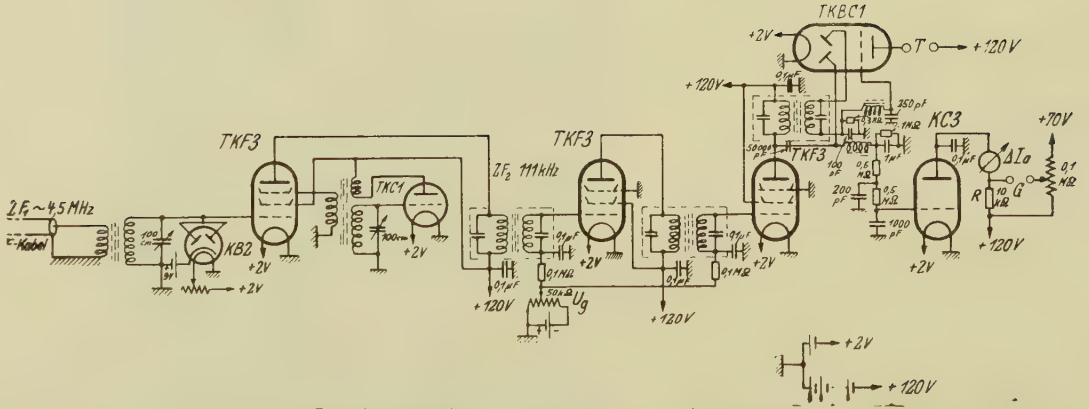

Abb. 11. Schaltungsschema der 2. Ueberlagerungsstufe mit Z.F.-Verstärkern und Meßstufe.

kungen addieren, die Zwischenfrequenz aus dem Bandfilterbereich herauswandern zu lassen. Für die beiden Ultrakurzwellenoszillatoren würde dies eine Mindestkonstanz der Frequenz von 0,066 ‰ und bei dem Kurzwellenoszillator von 2,2 ‰ bedeuten. Eine derartige Konstanz ist aber bei nichtkristallgesteuerten Sendern schwer zu halten, die letzte Einstellung der endgültigen Zwischenfrequenz von 111 kHz muß also jederzeit nachgestellt werden können. Zu berücksichtigen ist ferner, daß bei dem Transport der Meßapparatur zu den einzelnen Empfangspunkten Erschütterungen die Einstellung ändern. Mit dem Kondensator des Kurzwellenüberlagerers läßt sich ein großer Bereich bestreichen (vgl. Abb. 11a), so daß nie zu befürchten ist, daß der Mischvorsatz zwecks Nachstellung der ersten Mischfrequenz abmontiert werden muß, sondern eine einmalige, sorgfältige Einstellung genügte für sämtliche Meßreihen. Da die Eigendämpfung ultrahochfrequenter Kreise recht beträchtlich ist, d. h. ihre Resonanzkurve ist ziemlich breit (vgl. Lit.: 3), ist auch eine Nachstellung des Eingangskreises nicht nötig bei den trotz aller Vorsichtsmaßnahmen nicht vermeidbaren Frequenzschwankungen des Senders.

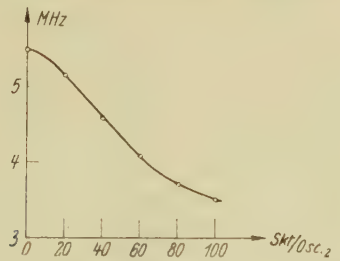

Abb. 11a. Frequenzbereich des 2. Oszillators.

Um den Meßbereich der Empfangsapparatur zu unterteilen, wurde eine zusätzliche Bedämpfung bzw. eine Veränderung des Verstärkungsgrades in den Stufen nach dem Mischen vorgenommen; ein Eingriff in das Vorsatzgerät selbst zwecks Aenderung der Empfindlichkeit ist bei der hohen Frequenzempfindlichkeit des UKW-Misch-Teiles nicht zu empfehlen. Die Ausmessung großer Feldstärken ist somit nach oben durch die allmähliche Zustopfung bzw. Uebersteuerung dieser Eingangsstufe begrenzt. Im Gitter-

kreis der zweiten Mischstufe wurde eine Herabsetzung der steuernden Hochfrequenzamplitude durch Parallelschaltung eines zusätzlichen veränderlichen Widerstandes erzielt. Da ein mechanisch arbeitender Widerstand wegen seiner Nachteile hinsichtlich guten Kontaktes, Skin-Effektes usw. nicht in Betracht kommt, wurde eine Diode als Dämpfungswiderstand verwendet. Sie erhielt eine geringe Anodenvorspannung. Ihr Widerstand wurde durch Aenderung des Heizstromes variiert (vgl. Abb. 11). Die Abhängigkeit des Innenwiderstandes vom Heizstrom ist in Abb. 12 gegeben. Die dämpfende Wirkung ist in Abb. 13, 13b veranschaulicht.

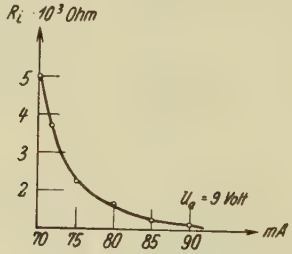

Abb. 12. Innerer Widerstand der Dämpfungsröhre in Abhängigkeit von der Heizung.

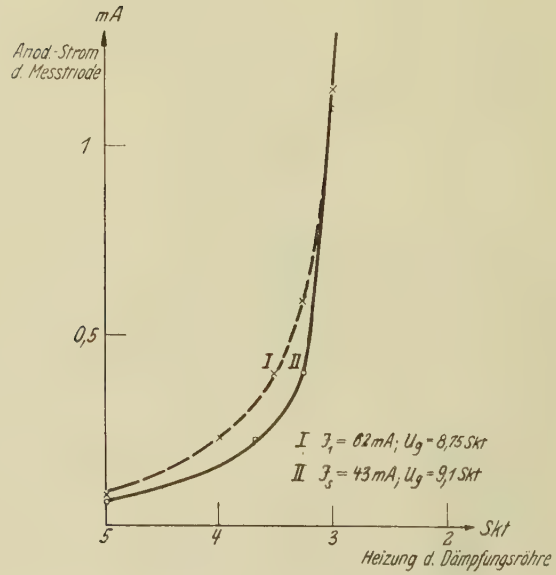

Abb. 13. Wirkung des Dämpfungsrohres.

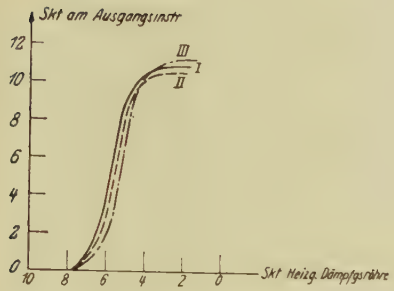

Abb. 13a. Frequenzabhängigkeit der Dämpfung durch Dämpfungsröhre. I: 3,93 MHz, II: 4,68 MHz, III: 5.38 MHz Eingangsspanng 50μ V. Ug = 8.5 Skt. Vorspannung Ua = 9 Volt.

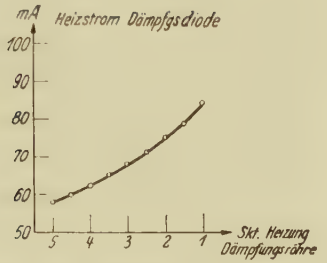

Abb. 13b. Zur Ermittlung des Heiz-Stromes der Dämpfungsröhre aus den Skt. des Heizwiderstandes.

Gemäß dem steilen Abfall des Widerstandes mit der Heizung setzt auch die dämpfende Wirkung sehr steil und erst bei größerer Heizung ein. Die Wirkung ist für zwei verschiedene Feldstärken (verschiedene Antennenströme) bei verschieden eingestellter Empfindlichkeit (U_g) des ZF-Verstärkers aufgezeichnet. Die allgemein zu vernachlässigende Frequenzabhängigkeit ist für die Grenzfrequenzen des zweiten Ueberlagers und eine Mittelfrequenz in Abb. 13a aufgenommen. In den beiden folgenden Verstärkerstufen, die die endgültige Zwischenfrequenz von 111 kHz verstärken, wurden Exponentialröhren verwendet, die Verstärkung wurde hier durch Variation der Gittervorspannung U_g verändert. Abb. 14 gibt den Verlauf des Quotienten: Notwendige HF-Spannung U_e bei einer bestimmten Vorspannung U_g zu benötigter HF-Spannung bei maximaler Empfindlichkeit (U_g = 9,1 Skalenteile) bei gleicher Aenderung des Anodenstroms an der Meßstufe (KC 3), also die Aenderung der Verstärkung in den beiden Stufen; Abb. 14a gibt den Zusammenhang zwischen Skt und negativer Gittervorspannung in Volt. Aus dem Vergleich der Abb. 13 und 14 ersieht man, daß die Verwendung einer Dämpfungsröhre nicht sehr vorteilhaft ist, denn ihre Wirkung setzt erst im letzten Teil des Heizstromes ein, und zwar ist dieser Einsatz außerordentlich steil, und das Arbeiten wird damit nicht angenehm. Es ist zu empfehlen, auch dort eine Verstärkungsänderung durch Gittervorspannungsänderung der benutzten Mischröhre (Regelpenthode) vorzunehmen.

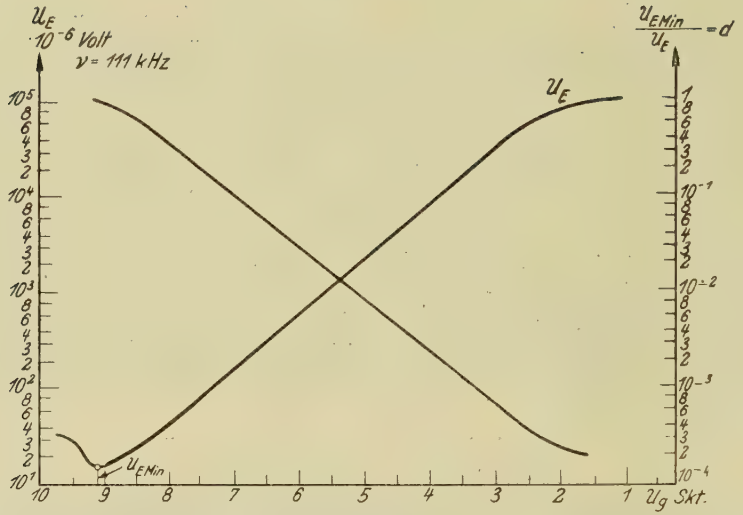

Abb. 14. Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Z.F.-Verstärkers von der Gittervorspannung. (mit Empfängerprüfgenerator ermittelt.)

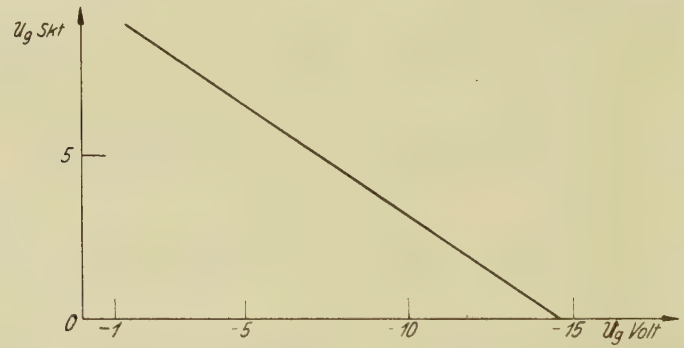

Abb. 14a. Gitterspannung am Z.F.-Verstärker in Abhängigkeit vom Skalenwert.

Die genügend verstärkte Zwischenfrequenz wird einer Verbundröhre zugeführt, in der die Hochfrequenz gleichgerichtet und die Gleichspannung der Meßstufe (KC 3) zugeführt wird. Ferner wird das nicht so steile Triodensystem der Duo-Diode-Triode zur Verstärkung der dem Sender aufgedrückten Modulation benutzt; es werden im Telefon die 50 Hz und ihre Oberschwingungen abgehört. Diese akustische Einstellung erleichtert die Bedienung der Apparatur, da bei einer Einstellung lediglich nach dem Ausgangsinstrument durch das Zusammenwirken der Oberschwingungen des Kurzwellenoszillators mit dem UKW-

Vorsatz ebenfalls Differenzfrequenzen von 111 kHz beim Durchdrehen des zweiten Ueberlagerers entstehen können, die Einstellung ohne akustische Kontrolle somit schwierig und nicht eindeutig wird. Die bei der benutzten Modulationsmethode mit auftretende Frequenzmodulation kann bei dem eingeschlagenen Meßverfahren unbedenklich in Kauf genommen werden. Der Kontrollton im Hörer ist markant und bei geringen Feldstärken noch gut aus dem Rauschen zu erkennen.

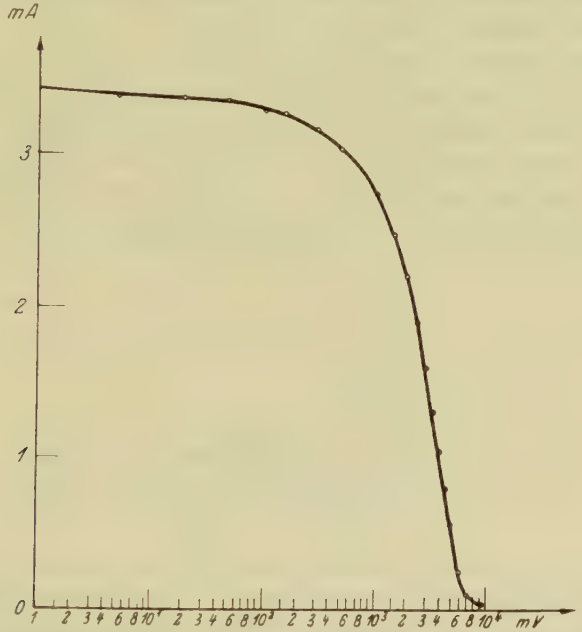

Abb. 15. Emissionsstrom der Meßtriode in Abhängigkeit von der an der Diodenstrecke erzeugten Gleichspannung.

Die in der Diodenstrecke gleichgerichtete Hochfrequenzspannung bewirkt über das Gitter der Meßröhre einen mit der herrschenden Feldstärke veränderlichen Anodenstrom Abb. 15. Die Aenderung der Emission gegenüber dem Ruhestrom (bei Verstimmung der Apparatur) kann direkt oder in Kompensationsschaltung gemessen werden (Vgl. Abb. 11). Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde ausschließlich die direkte Messung des Anodenstromes angewendet. Das Zeitglied an der Diodenstrecke lag bei etwa C . R = 1 sec, dadurch werden schnelle Schwankungen ins-

besondere der Frequenz ausgeglichen. Bei dem angegebenen Aufbau der Apparatur muß ein Kompromiß zwischen großer Verstärkung und genügender Selbsterregungsfreiheit auf Kosten einer verminderten maximal erzielbaren Verstärkung geschlossen werden.

Die getroffene Ausführung (vgl. Abb. 9a, b) hat sich auch in ihrem mechanischen Aufbau gut bewährt; bei dem Transport in oft reichlich unwegsamem Gelände und bei den verschiedenen Umladungen waren Ausfälle infolge defekt gewordenen Apparatur nicht zu beklagen.

Die geringen prozentualen Aenderungen der Empfindlichkeit bei verschiedenen Ueberlagerungsfrequenzen (Vgl. Abb. 16) sind dadurch bedingt, daß der Oszillator in der zweiten Transponierungsstufe nicht mit gleichmäßiger Stärke über den ganzen Bereich schwingt, und zwar nimmt die Empfindlichkeit zu den höheren Frequenzen hin etwas ab (maximal 10 %) vgl. dazu Abb. 11 a.

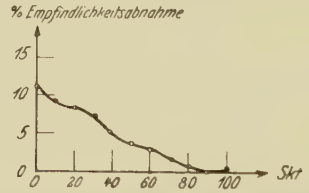

Abb. 16. Prozentuale Empfindlichkeitsabnahme bei verschiedener Lage der ersten Zwischenfrequenz.

c) Die Eichung der Apparatur.

Als Vorversuch wurde zunächst die Abhängigkeit des Anodenstroms der Meßstufe vom Hochfrequenzstrom im Strahlungsdipol aufgenommen. Der nach (1) und (13) zu erwartende lineare Zusammenhang zwischen beiden ist (vgl. Abb. 17, 17a) vorhanden. Es ist damit gleichzeitig noch erwiesen, daß die Strommessung in der angegebenen Weise auch für kleine Ströme brauchbar ist, denn nach (17) ist bei der angegebenen Meßweise des Antennenstromes dieser lineare Zusammenhang ebenfalls zwischen der Aenderung des Emissionsstromes der Meßstufe und dem HF-Strom im Entziehungskreis gegeben; der Uebertragungsfaktor k kann aber in der angegebenen Weise für kleine Ströme nicht mehr ermittelt werden, da der im Strahler eingesetzte Glühdraht in diesen Fällen nur sehr schwach oder gar nicht leuchtet.

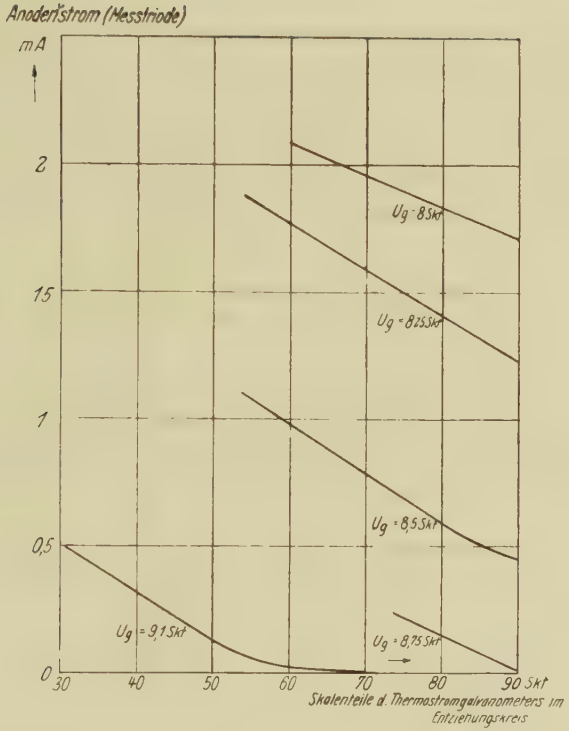

Abb. 17. Gang des Emissionsstromes d. Meßtriode mit dem Senderstrom bei verschiedenen Empfindlichkeiten Ug.

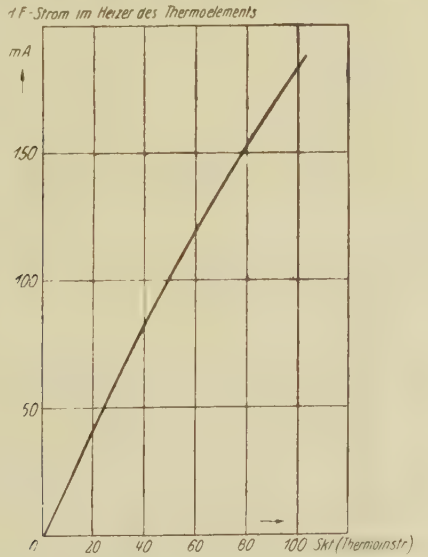

Abb. 17a. Eichkurve des Thermostrominstrumentes.

Bei der Aufnahme dieses Zusammenhanges ist es naturgemäß gleich, wie die gegenseitige Anordnung von Sender und Empfänger beschaffen ist. Die Apparaturen befanden sich in einer Entfernung von ca. 600 m voneinander, der Empfänger war in einem Gebäude untergebracht; die Beschaffenheit des zwischenliegenden Geländes ist aus Abb. 18 ersichtlich.

Abb. 18. Geländeverlauf bei Aufnahme des Emissionsstromes der Meßtriode als Funktion des Antennenstromes. SE = 620 m. Antennenhöhe H = 6 m über dem Erdboden.

Für die Durchführung der Eichung auf Grund der in Kap. III geführten theoretischen Ueberlegungen müssen Anordnung der Apparaturen und physikalische Beschaffenheit des Ausbreitungsgeländes genau definiert sein. Diese Forderungen sind in der Praxis jedoch nur schwer zu erfüllen. Die Bodenkonstanten ε und σ variieren im Gelände, dazu kommen noch Abweichungen von der als eben angenommenen Ausbreitungsfläche durch Erhebungen, Waldungen, Baulichkeiten usw.

Aus diesen Gründen wurde die Ausbreitung über einer Wasserfläche der Eichung zugrundegelegt, da hier in vollkommenster Weise alle Forderungen hinsichtlich eines genau erfaßbaren Ausbreitungsweges erfüllt sind. Bei der Benutzung von ε und σ darf bis zu Wellenlängen von etwa 1 cm unbedenklich mit den aus statischen Messungen gewonnenen Werten gearbeitet werden (Lit.: 6, 15, 16, 17). Für Süßwasser betragen (Lit.: 8, 16):

$$\varepsilon = 81 \quad \text{und} \quad \sigma = 5 \cdot 10^{-14} \text{ el. m. E.}$$

Die Messungen wurden von der Ionosphärenstation in Pieskow aus auf dem Scharmützelsee durchgeführt.

Da die Witterung noch leidlich günstig war, konnten einige Messungen auf dem zugefrorenen See durchgeführt werden. Die Dielektrizitätskonstante für Eis ist aber bedeutend kleiner als die des Wassers, da beim Eise die Beweglichkeit der Molekulardipole, deren Ausrichtung im

Felde die hohe Konstante des Wassers bedingt, wegfällt. Für Eis beträgt der Wert nur (Lit.: 8): $\varepsilon = 3{,}1$.

Der Strahlungsdipol befand sich bei den Messungen auf dem Brückenkopf einer weit in den See führenden Landungsbrücke. Die Empfangsapparatur wurde bei den Messungen zu Wasser auf einem größeren Fischerkahn einmontiert, der UKW-Vorsatz befand sich wie auch der Strahler auf einem 6 m hohen Bambusstativ. Es wurde ein schwerer Kahn benutzt, um in allen Fällen eine sichere und stabile Lage der Antennenanordnung zu gewährleisten.

Die Entfernungen d wurden mit Hilfe eines größeren Entfernungsmessers ermittelt*) und an Hand des in Frage kommenden Meßtischblattes Nr. 2047 kontrolliert und verglichen, wie überhaupt sämtliche Angaben über die Beschaffenheit des sich zwischen Ausstrahlungs- und Empfangspunkt erstreckenden Geländes diesem Blatt entnommen sind.

Die Auswertung dieser Messungen ist in den Kurven der Abb. 19 niedergelegt.

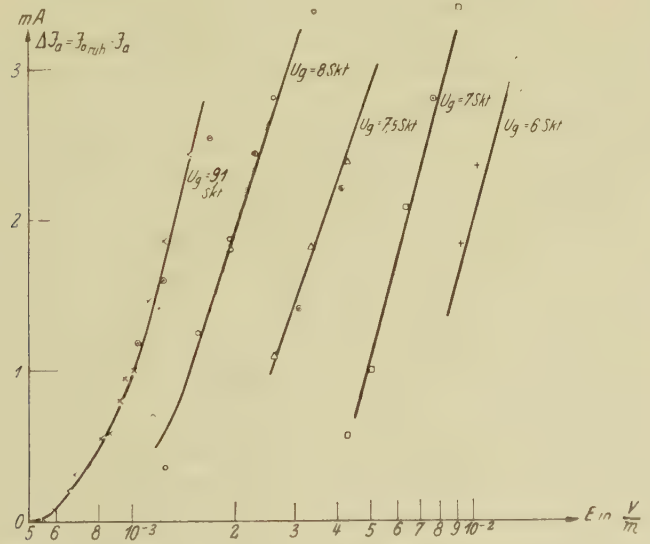

Abb. 19. Eichkurven des UKW Messempfängers
Auf dem Eis gemessene Eichwerte sind mit ° bezeichnet

*) Für die Ueberlassung eines Entfernungsmessers sei Herrn Major Packebusch vom Heeresnebenzeugamt, Berlin-Tempelhof bestens gedankt.

Die Lage der einzelnen Meßorte war so gewählt, daß stets in der Mitte des Sees (Uferabstand > 0,7 km) gemessen wurde, um die Einwirkungen der z. T. bebauten, bewaldeten und ansteigenden Ufer auf ein Minimum zu halten. Die Messung in unmittelbarer Ufernähe ergab infolge vermehrter Zustrahlung durch Reflexion eine Zunahme der Feldstärke bis zu 29 % gegenüber in gleicher Entfernung gelegenen Eichpunkten auf der Seemitte.

Desgleichen ergab sich bei Meßpunkten, die durch vorspringende Landzungen und Ausbuchtungen der direkten Sicht entzogen waren, also im „Schatten" der Hindernisse gelegen waren, Abnahmen der Feldstärke nach der Breite und Beschaffenheit des die Ausbreitung bedämpfenden Geländes. Die Abnahme lag hier zwischen 23 und 31 % der Feldstärke entsprechender Eichpunkte. Es erhellt hieraus die außerordentliche Vorsicht, die bei der Wahl der Meßpunkte zu beachten ist, um die Fehler bei der Eichung klein zu halten.

d) Ausbreitungsuntersuchungen und Feldstärkemessungen im Gelände.

Bei ersten orientierenden Beobachtungen im Gelände ergab sich die Tatsache, daß bei vertikalem Dipol das Feld eine ausgeprägte Drehung (ca. 20°) gegen die Vertikale zeigte. Da der Strahler in unmittelbarer Nähe der Beobachtungsstation aufgestellt war, wurde vermutet, daß die Metallteile des Hauses (Dachbeschläge usw.) und die Antennenanlage der Station infolge Anregung zu sekundärer Strahlung diese Veränderung des Polisationszustandes der Feldstärke bewirken. Eine Veränderung des Senderstandortes auf freies Feld brachte, solange das Gelände glatt und übersichtlich war, schnelle Abhilfe. Es wurde daher bei den folgenden Untersuchungen dieser Standort des Senders beibehalten, die Höhe des Strahlers über dem Boden betrug 6 m. Die gesamten Untersuchungen erstrecken sich auf die Zeit vom Winter 1936/37 bis in den Hochsommer 1937.

Es wurde nun an einem etwa 1 km entfernten Empfangsort (vgl. Abb. 20) die hervorgerufene Feldstärke über längere Zeit hin beobachtet, um evtl. Einflüsse der

Abb. 20. Geländeschnitt und Lage der Stationen bei der Beobachtung von Witterungseinflüssen usw. auf die Ausbreitung.
SE = 1000 m. Senderhöhe = Empfängerhöhe: 6 m über dem Boden.

Tageszeit, der Temperatur, des Feuchtigkeitsgehaltes usw. auf die Ausbreitung festzustellen. Die Witterungsverhältnisse waren dabei recht verschieden, jedoch war der allgemeine Charakter durch starkes Tauwetter, das bereits vor Aufnahme der Messungen eingesetzt hatte, bestimmt. Es wechselten Tage starker Wolkenbedeckung mit Tagen geringer oder gar keiner Wolkenbildung, Tage mit Temperaturen wesentlich unter 0° und Tage mit Temperaturen um den Gefrierpunkt, Schneefall und wieder starkes Tauwetter mit größeren Niederschlägen als Schnee-Regen-Gemisch.

Die unter diesen verschiedenen Bedingungen bei fester Anordnung von Sende- und Empfangsstation durchgeführten Beobachtungen ließen eine Einwirkung der verschiedenen angeführten Umstände auf die Ausbreitung nur im letzten Fall erkennen. (Ein unmittelbarer Einfluß dieser Umstände auf die Ausbreitung konnte auch bei anderen Arbeiten (vgl. Lit.: 3, 13) nicht gefunden werden.) Bei einem eingestellten Antennenstrom von 46 mA betrug die registrierte Feldstärke durchweg nur 0,9 mV/m; sie sank bei Wiedereintritt des mit starken Niederschlägen verbundenen Tauwetters ab auf 0,6 mV/m.

Ein Entfernen des Empfangsdipols von dem nahebei befindlichen Wetterhäuschen, das bei den Untersuchungen als Unterschlupf diente, zeigte, daß der leichte Holzbau infolge der starken Durchnässung zu einem Reflektor für die Strahlung geworden war (in seiner Nähe konnten stehende Wellen nachgewiesen werden) und zwar war seine Wirkung empfangsmindernd, während vordem ein merklicher Einfluß des Häuschens nicht festgestellt werden konnte.

Eine Veränderung des Standortes, die für die gesamte Entfernung belanglos ist, brachte eine Zunahme der Feldstärke auf 0,69 mV/m.

Der Grund für diese nur geringe Feldintensität ist in der stark dämpfenden Wirkung des Zwischenmediums zu suchen; er wurde vermutet, daß infolge der starken Nässe die zwischen Sende- und Empfangsort befindliche dichte Waldung aus hochstämmigen Kiefern eine starke Dämpfung der Strahlen bewirke, und zwar könnte bei der vertikalen Anordnung des Strahlers eine Art Gitterwirkung der nassen Stämme für den vertikal schwingenden elektrischen Vektor zustande kommen. Bei der getroffenen Ausführung der Apparaturen war die Benutzung sowohl von Vertikal- als auch von Horizontalantennen vorgesehen, eine Nachprüfung dieser Vermutung war somit durch einfaches Umschwenken des Sende- und Empfangsdipols ohne weitere Aenderungen der übrigen Geräte möglich. Das Ergebnis rechtfertigte die Annahme, bei gleichem Sendestrom wurde für die horizontale Anordnung unter denselben Bedingungen die hervorgerufene Feldstärke zu 2,1 mV/m gemessen, der Empfangsdipol stand dabei parallel zum Strahler. Bei Frosteinsatz stieg die Feldstärke infolge der damit verbundenen Feuchtigkeitsabnahme auf 2,2 mV m an. Die vertikale Strahlung ist also im Gegensatz zur Strahlung, bei der der elektrische Vektor in der Wagerechten schwingt, einer wesentlich größeren Dämpfung bei Ausbreitung in bewaldetem Gelände unterworfen. (Eine starke Zunahme der Dämpfungseigenschaft von Waldungen usw. bei Eintritt von Tauwetter ist auch von E. Bussmann (Lit.: 13) beobachtet worden.)

Schreibt man den Ausdruck für die am Meßpunkt herrschende Feldstärke in der Form:

$$E = \frac{60\, J_s}{d} \cos\varphi \cdot e^{-\alpha r} = E_{theor}\, e^{-\alpha r}, \qquad (18)$$

so erkennt man den Unterschied in der Bedämpfung beider Strahlungen am verschiedenen Wert der kilometrischen Dämpfungszahl α (r in km gemessen, Weg im dämpfenden Medium). Es wird für die vertikale Anordnung:

$$\alpha = 1{,}9 \text{ bis } 2{,}3$$

und für den Fall, daß der elektrische Vektor in der Wagerechten schwingt, ergibt sich:

$$\alpha = 0{,}43 \text{ bis } 0{,}5.$$

Im Sommer gelegentlich der Eichung durchgeführte

Bestimmungen ergaben für α im Vertikalfall $\alpha = 0{,}39$. Das betreffende Gelände war eine Villengegend mit Parks und leichtem Baumbestand. Die beiden letzten Angaben für α liegen gut bei den bereits bekannten Werten für α im UKW-Gebiet (vgl. Lit.: 2, 3, 10).

Aus dieser Erfahrung heraus wurden die weiteren Untersuchungen mit Horizontaldipolen durchgeführt, da das gesamte Gelände in der Umgebung der Ausgangsstation sehr waldreich ist, die Reichweite einer Vertikalstrahlung aber durch die größere Bedämpfung geringer ist.

Die folgende Abbildung (Abb. 21) gibt die Beschaffenheit (Höhenunterschiede und Art) des zwischen Sender und Empfänger liegenden Geländes der weiteren Messungen an. Bei den Ausbreitungsuntersuchungen der Strahlung horizontaler $\lambda/2$-Dipole ist zu bedenken, daß das Strahlungsdiagramm nach der Achse des Dipols hin auf Null einzieht; das Minimum der Ausstrahlung in Richtung der Achse, sowie das Auftreten der Interferenzringe bei der Vertikalanordnung (s. Kap. III, c) konnten festgestellt werden, jedoch war, da diese Untersuchung in größerer Nähe angestellt wurde, die Ausprägung infolge der Wirksamkeit der Nahzone usw. nicht überall scharf.

Diesem Umstand zufolge wurde vor Beginn einer Meßreihe der Strahler mittels Kompaß und Meßtischblatt so eingerichtet, daß seine „Breitseite" in Richtung auf das Meßgelände zeigte, d. h. die Dipolachse stand senkrecht zur Verbindungslinie Sender Mittelpunkt des Untersuchungsgeländes. Wie aus Abb. 21 ersichtlich ist, war das für die Ausbreitung gewählte Gelände insofern interessant, als hier die Wirkung einer ausgedehnten Erhebung (Alaun-Berge), die sich in größerer Entfernung vom Sender befand, auf die Ausbreitung untersucht werden konnte. Optische Sicht zum Sender bestand von keinem der verschiedenen Meßpunkte aus, die Sichtweite war nach III a etwa 8,7 km. Alle Meßpunkte befanden sich noch innerhalb dieser Distanz, jedoch ist wegen des stark hügeligen Geländes und der geringen Senderhöhe dieser Faktor nicht ausschlaggebend.

Die Ausbreitung zum Meßpunkt 1 führt zur Hälfte durch dichten Kiefernwald und zur anderen über Acker-

Abb. 21. Lage und Verlauf des Meßgeländes.
(Die Zahlen längs der Strecken geben die Höhe in m über Normal-Null an)

land. Die registrierte Feldstärke von 0,6 mV/m ergibt eine kilometrische Dämpfungsziffer von $\alpha = 0{,}38$. Meßpunkt 2 lag hinter einer Bodenerhebung, die Intensität war dort bis unter die Reizschwelle des Hörers gesunken. Der Meßpunkt 3 war an einer Eisenbahnstrecke gelegen, die ziemlich gerade verlaufend in einer ca. 20 m breiten Schlucht durch den Wald etwa 100 m am Senderstandort vorbeiführte. Eine besondere Fortleitung der Strahlung längs dieses „Kanals", wie sie von Bussmann (Lit.: 13) beobachtet worden ist, konnte nicht festgestellt werden. Es kann dies immerhin auf einen Mangel an geeigneten Reflektoren zurückgeführt werden, wurde doch hier im Gegensatz zu der angeführten Untersuchung mit horizontal schwingendem Dipol gearbeitet. Hier sowohl als auch im benachbarten Punkt 4 war lediglich Nachweis im Hörer möglich. In 4 wurde die Intensität noch von einem Ansitz (Höhe etwa 6 m) aus gemessen. Es zeigte sich ein merklicher Höhengradient, hervorgerufen durch eine Verringerung des Ausbreitungsweges im dämpfenden Medium (Wald). In

dieser Höhe wurden 0,66 mV/m verzeichnet. Die Meßpunkte 5—8 beziehen sich auf die Wirkung der Alaun-Berge, bei Beginn dieser Messung wurde der Antennenstrom noch heraufgesetzt. In 6 werden 0,68 mV/m gemessen, auf dem „Grat" dieser Erhebung in 5 stieg der Wert auf 0,73 mV/m. Dahinter fiel das Gelände sehr schnell ab, die Feldintensität sank bis unter die Nachweismöglichkeit im Hörer herab; in 7 war noch kein Empfang zu verzeichnen. In Meßpunkt 8, der am Eingang einer Ortschaft gelegen war, konnte gerade Kopfhöreremfpang verzeichnet werden.

Es hat den Anschein, als ob sich das Wellenfeld mit wachsender Entfernung vom Hindernis allmählich wieder schließt, daß also gewissermaßen ein „Kernschatten" in der Nähe hinter dem abschattenden Objekt existiert.

In den Meßpunkten 9, 10, 11 kann der Nachweis im Hörer als sehr gut bezeichnet werden. In Meßpunkt 13, der im Gegensatz zu Punkt 11 keine Dämpfung durch Bodenerhebung erfährt (vgl. Abb. 21), konnte 0,58 mV/m registriert werden, und in Meßpunkt 12, der etwas höher gelegen ist, wurden 0,65 mV/m gemessen. In dem hoch gelegenen Meßpunkt 14 kommt die Feldintensität mit 0,98 mV/m dem theoretischen Wert von $60\, J_s/d \cdot \cos\varphi$ infolge der fast optischen Sicht recht nahe. Die Messungen wurden, wenn nicht anders angegeben, durchweg in 2,6 m Höhe über dem Erdboden ausgeführt.

Angeregt durch das verschiedenartige Verhalten von vertikaler und horizontaler Strahlung im Gelände wurden 2 Meßfahrten unternommen, einmal bei vertikal- und dann bei horizontalgestelltem Strahler.

Der Strahler befand sich dabei auf dem hochgelegenen meteorologischen Beobachtungsdach des Observatoriums Lindenberg.

Der Aufstellungsort wurde wegen des hochgelegenen Geländes gewählt; er war aber insofern nicht übermäßig günstig, als durch die Antennenanlage und durch die übrigen Baulichkeiten der Funkstation und ferner durch den Verlauf des Geländes selbst keine gleichmäßige Ausbreitung stattfinden konnte. Bei der Gegenüberstellung der gemessenen Feldstärkenwerte ist außerdem noch das ver-

schiedene Strahlungsdiagramm beider Sende-Antennen-Anordnungen zu berücksichtigen. Im besonderen wurde bei diesen Messungen die Polarisationsbeschaffenheit der am Empfangsort auftretenden elektromagnetischen Strahlung kontrolliert.

Die Beobachtungen lassen eine eindeutige Ueberlegenheit einer der beiden Sendeanordnungen hinsichtlich der Reichweite nicht erkennen. Es zeigte sich vielmehr, daß an manchen Stellen die vertikale Polarisationsart der Strahlung und an anderen Punkten die horizontal polarisierte Strahlung die größere Feldintensität brachte; gelegentlich zeigte keine der beiden Anordnungen einen Unterschied im Empfang.

Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchung ergab sich, daß bei der Vertikalantenne die ursprüngliche Polarisationsrichtung bei der Ausbreitung nicht durchweg erhalten bleibt, die Richtung, in der die Empfangsantenne maximalen Ausschlag brachte, bildete im allgemeinen mit der Vertikalen einen merklichen Winkel. Gelegentlich konnte überhaupt keine ausgezeichnete Polarisationsrichtung festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wurde bei der horizontalen Anordnung in jedem Meßpunkt eine befriedigende Uebereinstimmung der Richtung maximaler Feldintensität mit der Horizontalen gefunden, und zwar stets parallel zum Strahler. Beim Drehen der Empfangsantenne in der Horizontalen war ständig ein ausgeprägtes Minimum festzustellen. Vergleiche dieser Richtung minimalsten Empfangs mit der Richtung auf den Strahler, die durch einen guten Kompaß an Hand der Meßtischkarte ermittelt wurde, ergab bei diesem mehr orientierenden Verfahren eine gute Uebereinstimmung, so daß umgekehrt auch direkte Anpeilungen durchgeführt werden konnten. Eine Aenderung des Polarisationszustandes bei ursprünglich vertikal schwingendem elektrischen Vektor konnte bereits von anderer Seite festgestellt werden (vgl. Lit.: 2).

Als Gründe für die beobachtete Veränderung des Polarisationszustandes der emittierten Strahlung ist einmal anzuführen, daß ja nur im Falle, daß der elektrische Vektor in der Einfallsebene oder senkrecht dazu schwingt, der reflektierte Strahl wieder linear polarisiert ist, im allge-

meinen ist aber die reflektierte Strahlung elliptisch polarisiert. Ferner werden die verschiedenartigsten Objekte (Bäume u. ä.) des Geländes unter dem Einfluß der einfallenden Strahlung zu sekundärer Emission angeregt, deren Schwingungsebene den Umständen nach verschieden ist. So konnten beim Passieren von Bäumen, Gittern, Masten usw. in deren Nähe stets stehende Wellen, erkenntlich an den abwechselnden Maxima und Minima nachgewiesen werden. (M. I.O. Strutt hat das Interferenzbild eines Baumes ausgemessen, der als Sekundärstrahler wirkte. Aus der Superposition beider Felder ergeben sich die Kurven extremaler Feldintensität). Das Zusammenwirken all dieser im einzelnen nicht mehr kontrollierbaren Vorgänge ergibt im Gesamteffekt einen von der Primärstrahlung mehr oder weniger stark abweichenden Wellenzustand.

Den gemachten Erfahrungen nach müßten diese Umstände aber nur von geringem Einfluß auf die horizontal polarisierte Strahlung sein, um das unterschiedliche Verhalten zu erklären.

Erleichtert werden die Messungen durch die absolute Störungsfreiheit des Empfanges in diesem Frequenzgebiet. Als Beweis für die Güte der getroffenen Abschirmungen und Panzerungen kann die Tatsache betrachtet werden, daß auch keinerlei Störungen auf den beiden Zwischenfrequenzen in die Apparatur drangen. Ein Versuch an Explosionsmotoren ergab, daß sich der Zündfunke nur in größerer Nähe des Motors störend bemerkbar macht. In einer Entfernung von ca. 15—20 m war die Intensität bereits unter die Reizschwelle gesunken (vgl. auch Lit.: 3).

Abschließend sei noch mitgeteilt, daß Empfangsversuche an Oberwellen (vgl. Lit.: 12) von Kurzwellenstationen unternommen wurden. Auf Grund theoretischer Ueberlegungen (vgl. Lit.: 11) bedingt eine Abnahme von ε mit der Höhe einer Krümmung der Strahlen zur Erde, ferner könnte unter günstigen Bedingungen die Ladungsdichte der Ionosphäre für eine Reflexion geeignet sein, so daß große Reichweiten, wie sie von Anderen (Lit.: 4, 12) gelegentlich, allerdings für das langwellige Ende des UKW-Gebietes, beobachtet wurden, auftreten können.

Die Versuche, die zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten angestellt wurden, fielen jedoch negativ aus. Zu diesem Befund ist zu bemerken, daß die Beobachtungen keine Dauerversuche waren, sondern vielmehr den Charakter von Stichproben hatten; ferner handelt es sich bei den Oberwellen um unerwünschte Nebenerscheinungen, ihre Ausstrahlung wird weitgehend unterdrückt, insbesondere wird der Anteil der in Betracht kommenden Oberwelle (es handelt sich bei Frequenzen um 150 MHz ja um höhere Oberwellen) außerordentlich gering sein. Der eigene Sender konnte infolge zu geringer Leistung dazu nicht verwendet werden. Schließlich ist noch die nur mittlere Empfindlichkeit der Empfangsapparatur zu berücksichtigen.

e) Aenderungsvorschläge an der Apparatur.

Soll für künftige Messungen ein ähnlicher Sender gebaut werden, so ist es im Interesse einer Erleichterung und Erweiterung der Untersuchungen ratsam, wenn man nicht mit Magnetfeldröhren arbeiten will, statt der verwendeten Röhrenbestückung die inzwischen erschienenen Typen mit größerer Leistung und größerem Nutzeffekt einzusetzen.

Bei unruhigen Stromnetzen empfiehlt es sich, eine weitere Stabilisierung der Betriebsspannungen durch Verwendung von Glimmstrecken durchzuführen.

Ueber die zu erreichende Frequenzkonstanz mittels Kristall (Turmalin)-Steuerung finden sich in Lit.: 14 Angaben, jedoch ist dann wegen der nur geringen Leistung ein mehrstufiger Sender zu verwenden (vgl. dazu Lit.: 13).

Am Empfängerteil kann durch Vorschalten einer Zwergpenthode noch eine Empfindlichkeitssteigerung erzielt werden, eine Vermehrung der ZF_2-Stufen ist im Hinblick auf die Selbsterregungsfreiheit dieser Stufen nicht vorteilhaft, dagegen wäre eine Vorverstärkung der ersten Mischfrequenz noch vor der Kabelleitung empfehlenswert.

Bei der mit der beschriebenen Apparatur erzielten Empfindlichkeit ist vor allem in Rechnung zu setzen, daß das 7 m lange Zwischenfrequenzkabel bei einer ersten Zwischenfrequenz von 4,5 MHz eine nicht zu vernachlässigende kapazitive Belastung für die Mischstufe bedeutet. Ferner bringt die Mischstufe selbst (vgl. Abb. 10) keine

wesentliche Verstärkung, da die Mischsteilheit nur ein Bruchteil der normalen Steilheit der verwendeten Penthode ist.

Der Meßbereich war nach oben durch die Uebersteuerung der SF 1 begrenzt; er könnte durch Bedämpfung ihres Gitterkreises mittels der jetzt erhältlichen Zwergdioden heraufgesetzt werden, jedoch ist auch hierbei eine Verstimmung des Kreises zu erwarten.

Eine Vereinfachung der Regelung der Gitterspannungsänderung in den ZF-Verstärkerstufen läßt sich erzielen, wenn diese Stufen automatisch durch die Spannung einer Diodenstrecke geregelt werden; es läßt sich dann der gesamte Meßbereich ohne Umschaltung des Verstärkers bestreichen, wenn man als Meßtriode eine emissionsstarke Röhre (etwa RE 604 u. ä.) benutzt. Man erhält dann einen logarithmischen Verstärker. Allerdings ist bei ausschließlichem Batteriebetrieb die Speisung der Endstufe auf längere Zeit mit Anodenbatterien wegen des großen Strombedarfs nicht möglich, hinzu kommt die höhere Betriebsspannung einer solchen Röhre: der mitzuführende Batteriensatz würde die Empfangsapparatur unhandlich und nur schwer beweglich machen. Es wurde aus diesen Gründen von dieser an sich sehr praktischen Schaltungsweise kein Gebrauch gemacht.

Die Durchlaßbreite der ZF-Filter ist zweckmäßig größer als im vorliegenden Fall zu bemessen, etwa mit 10 bis 15 kHz.

Um von der Verwendung des Metallgehäuses als Gegengewicht bzw. Erdung freizukommen, mag es vielleicht besser sein, die Empfangsantenne ebenfalls als $\lambda/2$-Dipol wie die Sendeantenne auszubilden, jedoch waren die Erfahrungen mit der benutzten Antennenart befriedigend.

V. Zusammenfassung.

Nach einer einleitenden Betrachtung über die Möglichkeiten und Wege zur Messung absoluter Feldstärken bei ultrakurzen Wellen wurden im theoretischen Teil die benötigten Grundlagen und Formeln zusammengestellt, gleich-

zeitig ergaben sich hierbei die wesentlichen Richtlinien für den Aufbau und die Eichung der Apparatur, deren Durchführung in den folgenden Paragraphen besprochen wurde.

Bei den Messungen mit der geeichten Apparatur kam u. a. insbesondere das verschiedenartige Verhalten von horizontal- und vertikal-polarisierter Strahlung im Gelände zum Vorschein. Ferner konnte aus dem vorhandenen Material die Ausbreitungskonstante (Dämpfungsziffer) ermittelt werden, schließlich wurde die Wirkung eines ausgedehnten Hindernisses (größere Erhebung) auf die Ausbreitung untersucht. Abnorme Reichweiten (Oberwellen von Kurzwellenstationen) konnten nicht beobachtet werden. Endlich wurden Verbesserungsvorschläge für eine künftige Apparatur gegeben, deren Durchführung eine Vereinfachung und Erleichterung beim Arbeiten mit sich bringen würde.

VI. Literatur.

1. G. Schweitzer: Untersuchungen an einem Feldstärkemeßgerät nach dem Hilfssenderverfahren. Dissert. Univers. Berlin, 1935.
2. K. Sohnemann: Feldstärkemessungen im Ultrakurzwellengebiet. Diss. Techn. Hochsch. Bln. 1931; s. auch ENT *8*, 1931, 462.
3. W. Scholz: Die rundfunkmäßige Verbreitung von Tonbildsendungen auf ultrakurzen Wellen in Deutschland. Diss. Techn. Hochsch. Berlin 1935.
4. P. v. Handel u. W. Pfister: Untersuchungen über das Strahlungsfeld von Ultrakurzwellenantennen. Z. f. HF-Techn. u. Elektroak. 46, 1935, 8.
   Die Ausbreitung der ultrakurzen Wellen (cm, dcm, m-Wellen) längs der gekrümmten Erdoberfläche. Z. f. HF-Techn. u. Elektroak. *47*, 1936, 182.
5. Burrows, Decino and Hunt: Ultra-Short-Wave Propagation. Proc. Inst. Rad. Eng. *23*, 1935, 1507.
6. H. Schäfer: Absolutmessung der Hochfrequenzleitfähigkeit von Flüssigkeiten bei 3 m Wellenlänge. Z. f. Phys. *77*, 1932, 117.
7. W. König: Elektromagnetische Lichttheorie. Hdb. d. Phys. *XX*, 202 ff.
8. Berliner u. Scheel: Physikalisches Handwörterbuch S. 206.
9. H. Barkhausen: Lehrbuch der Elektronenröhren. 3. Band: Rückkopplung. S. 40 ff.
10. H. Huyskens, J. G. Kraus: Some characteristics of ultra high frequency transmission. Proc. Inst. Rad. Eng. *21*, 1933, 1302.
11. J. C. Schelling, C. F. Burrows, E. B. Ferrell: Ultra short-wave propagation. Proc. Inst. Rad. Eng. *21*, 1933, 427.
12. Hanns A. G. Heß: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektr. magnet. Wellen unter 11 m auf große Entfernungen. Diss. Univ. Jena, 1937; s. auch Funk-Techn. Monatshefte, Februar 1938.
13. E. Bussmann: Untersuchungen der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen bei einer Frequenz von 120 MHz. Diss. Univ. Berlin 1937 (nicht veröffentlicht).
14. A. O. Rapp: Experimentelle Untersuchungen an rückgekoppelten 2 m-Oszillatoren. Diss. Univ. Berlin 1937.
15. G. Joos: Lehrbuch der Theoretischen Physik. Kap. VII, § 4, S. 284.
16. M. I. O. Strutt: Messung des Leitvermögens der Erde für kurze elektrische Wellen. Die Naturwiss. *17*, 1929, 727.
   — Reflexionsmessungen mit sehr kurzen elektrischen und mit akustischen Wellen. ENT. *7*, 1930, 65.
   — Messung der elektrischen Erdbodeneigenschaften zwischen 20 und $2 \cdot 10^7$ Hz. ENT *7*, 1930, 387.
17. R. L. Smith-Rose: The electrical properties of soil at frequencies up to 100 Megacycles per second; with a note on the resistivity of ground in the united Kingdom. Proc. Phys. Soc. London *47*, 1935, 923.

Lebenslauf.

Am 18. Juni 1911 wurde ich, Erwin Otto Paul Schultz als Sohn des Schmiedemeisters Otto Schultz und seiner Ehefrau zu Berlin geboren. Ich bin arischer Abstammung und im Besitze der deutschen Staatsangehörigkeit.

Nach 6-jährigem Grundschulbesuch kam ich Michaelis 1923 in die Quarta der X. (Robert Zelle) Realschule zu Berlin. Im Herbst 1927 wurde ich dann in die Obersekunda der Königstädtischen Oberrealschule aufgenommen, wo ich Michaelis 1929 die Reifeprüfung ablegte. Anschließend schrieb ich mich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin ein. Ich studierte dort bis zum Wintersemester 1933/34 Mathematik, Physik und Chemie.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren Nernst, Wehnelt, Hettner, Czerny, Henning, Schlenk, Erh. Schmidt, Bieberbach, Hammerstein, Feigl, denen ich hier meinen Dank aussprechen möchte.

Im Februar 1935 bestand ich vor der Staatlichen Kommission die Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen in den obigen Fächern.

Nach halbjähriger Tätigkeit als Studienreferendar trat ich Anfang Oktober 1935 in die von Herrn Prof. Dr. G. Leithäuser geführte Abteilung für Hochfrequenz des damaligen Heinrich-Hertz-Instituts ein, um auf diesem Gebiete zu arbeiten. Während ich mich mit der Durchführung vorliegender Arbeit befaßte, war ich noch bis Ende 1936 in der Redaktion des Jahrbuchs über die Fortschritte der Mathematik tätig, wie ich auch während der Studienzeit in den Semesterferien in einem großen Industrieunternehmen arbeitete.

Anfang April 1937 betraute mich Herr Prof. Leithäuser mit der technischen Leitung der Ionospärenbeobachtungsstation in Pieskow, wo ich mich neben meinen eigenen Untersuchungen im besonderen mit dem Problem der variablen Echolotung und der Grenzwellenregistrierung zu befassen hatte. Diese Arbeiten wurden Ende September 1937 abgeschlossen.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. G. Leithäuser, möchte ich an dieser Stelle meinen besonderen Dank für vielfache Anregung und tatkräftige Förderung aussprechen. Danken möchte ich weiter den Herren Professoren Stuart und Wehnelt für die freundliche Uebernahme der Referate.

Dem Institut für Schwingungsforschung danke ich für die Bereitstellung der Mittel zur Durchführung der Arbeit.